

***А. З. Ибраимова, О. В. Селиванова\*, В. А. Хотин***

Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург

\**sov23@mail.ru*

### **ВЛИЯНИЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ 37ХГФ**

В работе исследованы микроструктура и механические свойства конструкционной стали 37ХГФ после термической обработки по различным режимам. Проведен сравнительный анализ микроструктуры и комплекса механических свойств в исходном горячекатаном состоянии, после улучшения и изотермической закалки.

*Ключевые слова:* среднеуглеродистая сталь, закалка, отпуск, ударная вязкость, механические свойства, бейнит.

***A. Z. Ibraimova, O. V. Selivanova, V. A. Khotinov***

### **THE INFLUENCE OF ISOTHERMAL QUENCHING ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF STEEL 37HGF**

The microstructure and mechanical properties of constructional steel 37HGF after heat treatment on different regimes were investigated. Comparative analysis steel microstructure and mechanical properties after hot-rolling, quenching, tempering and isothermal quenching was carried out.

*Keywords:* medium carbon steel, quenching, tempering, impact toughness, mechanical properties, bainite.

Целью данной работы явилось изучение влияния бейнитной закалки на формирование микроструктуры и комплекса механических свойств среднеуглеродистой стали 37ХГФ.

Продукты изотермического превращения переохлажденного аустенита в промежуточном интервале температур по своим свойствам, составу и структуре фаз близки к продуктам отпуска мартенсита закаленной стали, если температуры бейнитного превращения и отпуска одинаковы. Ферритная фаза в бейните является пересыщенным раствором углерода в  $\alpha$ -железе. Карбидная фаза в верхнем бейните – цементит, а в нижнем бейните –  $\epsilon$ -карбид, который заменяется цементитом с увеличением времени выдержки (как и при отпуске стали) [1].

Резкое уменьшение закалочных напряжений и коробления – важное преимущество изотермической закалки. Кроме того, у изотермической

закалки есть и другое преимущество. При бейнитном превращении в некоторых легированных сталях сохраняется большое количество остаточного аустенита, который не превращается в мартенсит при охлаждении после изотермической выдержки [2]. Изотермическая закалка таких сталей обеспечивает высокую ударную вязкость, резко уменьшает чувствительность к надрезу по сравнению с закаленной на мартенсит и отпущенной сталью. Следовательно, изотермическая закалка позволяет повысить конструктивную прочность стали.

Образцы стали 37ХГФ изучали в исходном горячекатаном состоянии, а также после изотермической обработки по различным режимам (рис.1).

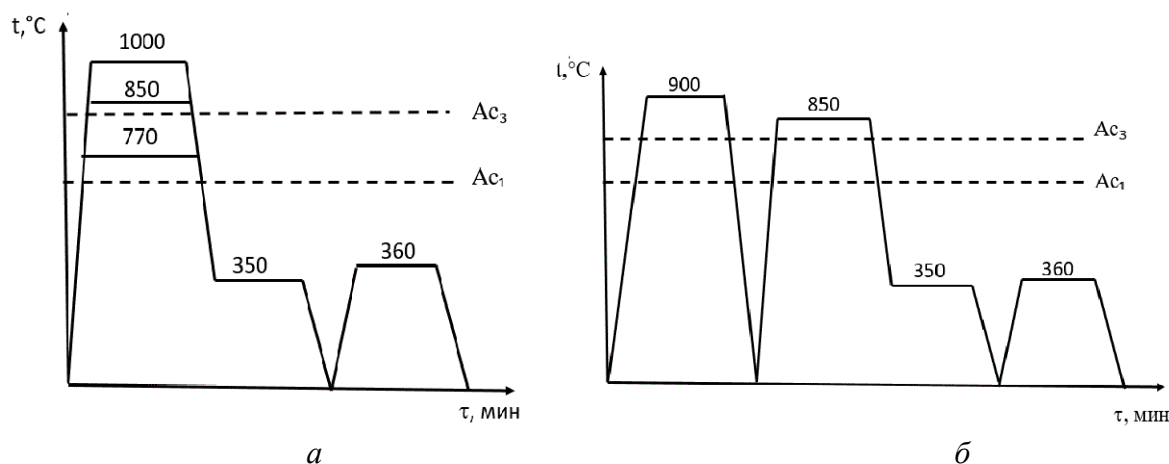


Рис. 1. Режимы термообработки стали 37ХГФ:  
а – горячекатанное состояние; б – закаленное состояние

Согласно результатам ударных испытаний, KCV исследуемой стали после горячей прокатки составляет  $0,25 \text{ МДж/м}^2$ , а после улучшения –  $1,26 \text{ МДж/м}^2$ . Проведение изотермической обработки по режиму ( $t_{\text{н}} = 850^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{пер}} = 350^\circ\text{C}$ ,  $\tau_{\text{в}} = 30 \text{ мин}$ ) приводит к значительному увеличению уровня ударной вязкости на  $1 \text{ МДж/м}^2$  и  $0,1 \text{ МДж/м}^2$  по сравнению с исходным горячекатаным и улучшенным состоянием соответственно.

Аустенизация в межкритическом интервале температур с последующей изотермической выдержкой при  $t_{\text{пер}} = 350^\circ\text{C}$ ,  $\tau_{\text{в}} = 30 \text{ мин}$  приводит к незначительному увеличению ударной вязкости на  $0,1 \text{ МДж/м}^2$  по сравнению с исходным горячекатаным состоянием соответственно и снижению на  $1 \text{ МДж/м}^2$  по сравнению улучшенным состоянием. После обработки по режиму  $t_{\text{н}} = 1000^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{пер}} = 350^\circ\text{C}$ ,  $\tau_{\text{в}} = 30 \text{ мин}$  ударная вязкость сопоставима с таковой для исходного горячекатаного образца.

После изотермической обработки закаленного образца  $t_{\text{зак}} = 900^\circ\text{C}$ , по режиму  $t_{\text{н}} = 850^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{пер}} = 350^\circ\text{C}$ ,  $\tau_{\text{в}} = 30 \text{ мин}$  уровень ударной вязкости значительно увеличивается на  $1,1 \text{ МДж/м}^2$  по сравнению с исходным

горячекатаным и на  $0,1 \text{ МДж/м}^2$  с улучшенным состоянием, соответственно.

Исследование поверхностей излома образцов после изотермической закалки показало, что обработка по режимам  $t_n = 850 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{пер}} = 350 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\tau_b = 30$  мин приводит к 100 % волокнистому типу излома (рис. 2, а). После аустенитизации в межкритическом интервале температур с последующей изотермической выдержкой при  $t_{\text{пер}} = 350^\circ\text{C}$  наблюдается полностью хрупкий излом (рис. 2, б). Увеличение температуры аустенитизации до  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  с последующей изотермической выдержкой при  $t_{\text{пер}} = 350 \text{ }^\circ\text{C}$  также приводит к хрупкому механизму разрушения (рис. 2, в). В результате, испытания на удар образца с исходной мартенситной структурой, обработанного по режиму  $t_n = 850 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{пер}} = 350 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\tau_b = 30$  мин формируется волокнистый излом (рис. 2, г).

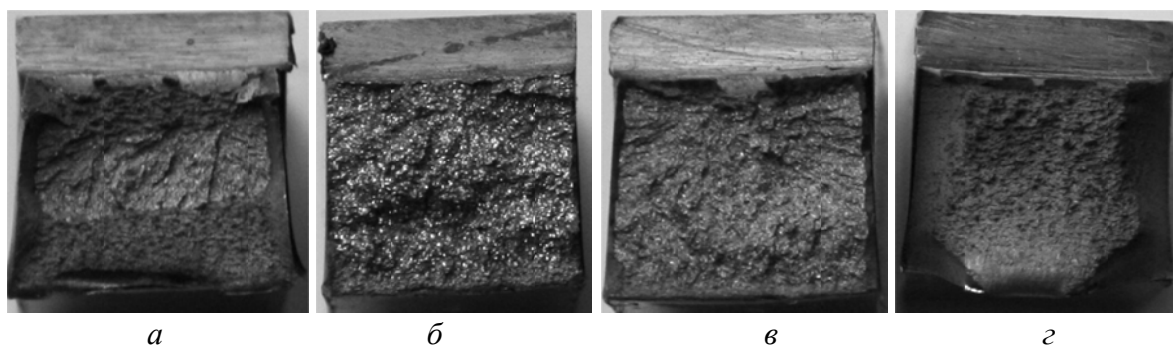


Рис. 2. Поверхности образцов Шарпи после ударных испытаний после изотермической обработки ( $t_{\text{выд}} = 350 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\tau_b = 30$  мин) при различных температурах аустенитизации:  
а –  $t_n = 850 \text{ }^\circ\text{C}$ ; б –  $t_n = 770 \text{ }^\circ\text{C}$ , в –  $t_n = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  
г – закаленное состояние,  $t_n = 850 \text{ }^\circ\text{C}$

Механические свойства в горячекатаном состоянии составляют следующие значения: предел текучести  $\sigma_{0,2} = 610 \text{ МПа}$ , временное сопротивление  $\sigma_b = 890 \text{ МПа}$ , относительное сужение  $\psi = 39 \text{ } \%$ . Равномерное удлинение  $\delta_p = 7,9 \text{ } \%$ , общее  $\delta = 14 \text{ } \%$ .

Улучшение после горячей прокатки приводит к увеличению предела текучести  $\sigma_{0,2}$  от 610 до 970 МПа. Также возрастает показатель временного сопротивления  $\sigma_b$  с 890 до 1035 МПа. При этом наблюдается падение пластических характеристик, однако наблюдается увеличение относительного сужения  $\psi$  с 39 до 49 %. Равномерное удлинение  $\delta_p$  понижается от 7,9 до 4,6 %, общее  $\delta$  – от 14 до 12 %.

Проведение бейнитной закалки по режиму  $T_n = 850 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\tau_b = 350 \text{ }^\circ\text{C}$ ; приводит к снижению прочностных характеристик, а именно предел текучести  $\sigma_{0,2}$  уменьшается на 288 МПа, а  $\sigma_b$  – на 156 МПа по сравнению с таковыми после улучшения. При этом наблюдается увеличение пластических характеристик, а именно равномерное удлинение  $\delta_p$

увеличивается от 4,6 до 5,9 %, общее удлинение  $\delta$  возрастает от 12 до 16,9 %, наблюдается увеличение относительного сужения  $\psi$  с 39,0 до 64,9 %.

Установлено, что проведение низкотемпературного отпуска после бейнитной закалки не приводит к значительному изменению механических свойств.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов: учебник / И. И. Новиков. Москва : Металлургия, 1986. 392 с.
2. Effect of tempering on the microstructure and mechanical properties of a medium carbon bainitic steel / J. Kang [et al.] / /Material Science & Engineering A. 2017. V. 686. P. 150–159.